

ノート

三重県の酸性雨の状況について

川上正純, 佐来栄治

Current condition and trend of acid precipitation in Mie prefecture

Masazumi KAWAKAMI and Eiji SARAI

酸性雨について, 県下6地点(四日市市, 上野市, 松阪市, 飯南町, 磯部町, 尾鷲市)で調査を行ってきた。その結果, pHは, 平成11年度までは, 全体的には6地点とも横這いしないし僅かな上昇傾向を示し, 同年では4.88~5.32であったが, 12年度には全地点で0.5程度低下して4.37~4.81に, 13年度もほぼ同様の値で推移し4.38~4.76であった。この原因としては, 12年8月に発生した三宅島の噴火による酸性ガスの影響と考えられた。イオン濃度, 沈着量及び主成分分析の結果から, 6地点の降雨を比較すると, 四日市, 上野は SO_4^{2-} , NH_4^+ タイプ, 磯部, 尾鷲は海塩粒子タイプ, 松阪, 飯南はその中間タイプと考えられた。

キーワード: 酸性雨, pH, SO_4^{2-} , 水溶性イオン, 主成分分析

はじめに

我が国においては, 酸性雨による湖沼の酸性化や森林の衰退等の被害は, 北欧, 北米地域に比べ顕在化はしていないものの, 降水の酸性度は欧米並であること, また, 雨や土壌の酸性化は徐々に進行していくと考えられることから, 三重県では昭和60年度から予備的な酸性雨調査を開始し, 平成元年度より県下5地点(四日市市, 上野市, 松阪市, 飯南町, 尾鷲市)で, 平成3年度から1地点(磯部町)を追加し, 計6地点で調査を行ってきた。

三重県の酸性雨の状況については, これまでも, 塚田ら¹⁻²⁾や小山ら³⁻⁴⁾によって報告⁵⁾されているが, 平成13年度で, 6地点における調査が終了したことから, 今回, 調査開始以来の測定結果の解析を試みたので報告する。なお, 尾鷲市のデータについては, 平成4年度以降, 尾鷲市が測定したデータの提供を受けたものである。

調査方法

調査は図1に示す6地点で行った。以下に各調査方法を示す。これらの調査方法は, 全国の降雨の酸性化の状況及び長期的な影響を把握するため, 全国の地方自治体の環境試験研究機関で統一した方法として実施しているものである⁶⁾。

1. ろ過式採取法による調査

採水用ローと貯水容器間にメンブランフィルター($0.45\mu\text{m}$)を組み込んだ採水装置を6地点に設置し, 春, 梅雨, 秋, 冬のそれぞれ一ヶ月間, 一週間毎に, 降

雨をろ過採取した。分析項目はpH, EC, 無機イオン(Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+})で, 分析方法は表1に示す方法で行った。

2. 分割採取法による調査

四日市市に, 降雨時に蓋が自動開閉し, 降雨1mm毎に3mmまでとそれ以上を分割採取出来る装置(小笠原計器製US400)を, 松阪市に, 降雨1mm毎に5mmまでとそれ以上を分割採取出来る装置(小笠原計器製US300)を設置して降雨を採取し, 1.と同じ方法で分析を行った。



図1 調査地点

表 1 分析方法

pH	ガラス電極法
EC	導電率計による方法
Cl ⁻	イオンクロマトグラフ法
NO ₃ ⁻	イオンクロマトグラフ法
SO ₄ ²⁻	イオンクロマトグラフ法
NH ₄ ⁺	イオンクロマトグラフ法
Na ⁺	イオンクロマトグラフ法
K ⁺	イオンクロマトグラフ法
Ca ²⁺	原子吸光法
Mg ²⁺	原子吸光法

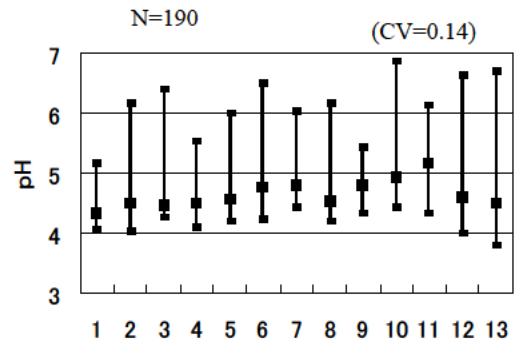


図 2 pH の変動 (最大・最小・平均：四日市)

結果及び考察

1. ろ過式採取法による調査

1.1 pH

雨水の pH は、図 2 の四日市における例に示すように全地点とも一降雨ごとの変動幅が大きく、最小値に比べ最大値の変動が大きかった。また、EC や、雨水に含まれる各種のイオン濃度についても pH と同様に変動が大きかった。解析に当たっては、特に断りのない限り、pH のみならず、各測定項目の平均値は、各測定項目に降雨量（毎降雨における採取量）を乗じた値を平均化した加重平均値で、イオン濃度は、当量濃度（ $\mu\text{eq/L}$ ）で評価を行った。図 3 に県内 6 地点における pH の年平均値の推移を示す。平成元年度では 4.35～4.72 で、平成 11 年度までは年度ごとの差異はあるものの全体的には 6 地点とも横這いしないし僅かな上昇傾向を示して 4.88～5.32 であったが、12 年度には全地点で 0.5 程度低下し 4.37～4.81、13 年度もほぼ同様の値で推移し、平均で 4.38～4.76 であった。この原因としては、12 年 8 月に発生した三宅島の噴火の影響が考えられた。三宅島の噴火ガスの主成分は SO_2 であり、 CO_2 や HCl の他 H_2S も SO_2 の 10～20% 程度含むと

されている⁷⁾。また、8 月以降、関東、東海、近畿の大気環境測定局において度々、 SO_2 の 1 時間値が環境基準を超過しており、これらは東～南風の場合に多く観測されている⁸⁾。図 4 に海塩粒子中の SO_4^{2-} を除いた nss-SO_4^{2-} と NO_3^- 当量濃度比の推移を示す。12 年 8 月の噴火後に、太平洋岸に面する尾鷲、磯部のみならず、全地点において当量濃度比が約 3 倍程度上昇した。また、図 5 に示すように、同時期における SO_4^{2-} 量（降雨量×当量濃度）は秋季に増大し、北、西風が卓越する冬季には減少する傾向が認められた。同様に、図 6 に示すとおり、平成 12 年秋以降、冬季には pH の上昇が認められたことから、この時期には三宅島の酸性ガスの影響が少なくなったものと思われた。この様に、平成 12 年度以降については、pH は三宅島火山噴火の酸性ガスの影響に大きく左右されていた。また、図 7 に平成元年度から 13 年度までの 6 地点における 1 週間降雨の pH の段階別出現割合を示す。pH 5.6 以下を酸性雨と考えると、尾鷲が 94%、四日市と磯部が 81%、松阪が 76%、上野が 72% で、飯南が 68% であった。pH 4.5 以下の降雨の出現率は、四日市が 25%、尾鷲、磯部が 23%、松阪 19%、飯南 11%、上野 10% であった。

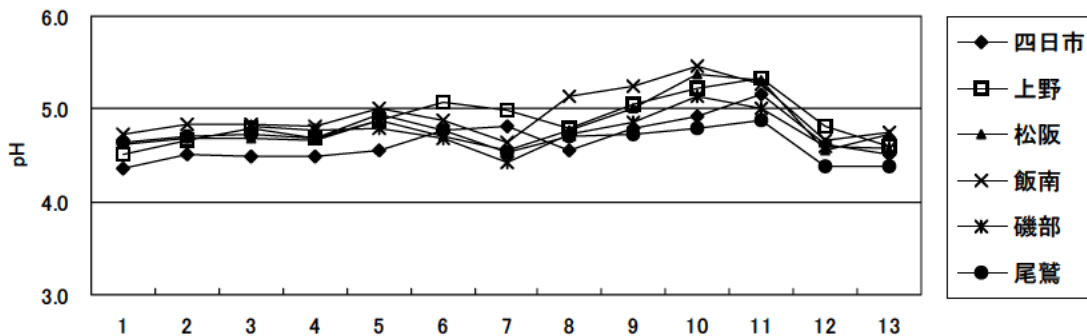


図 3 pH の年平均値の推移

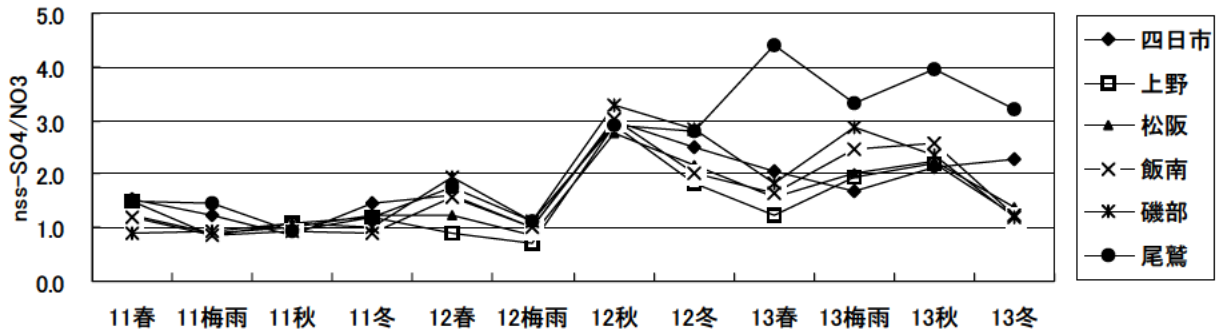


図4 nss-SO₄²⁻/NO₃⁻当量濃度比

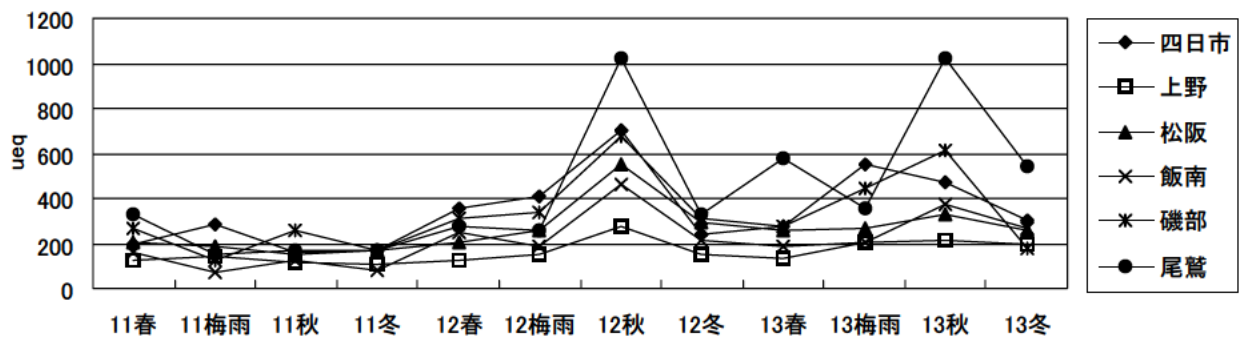


図5 SO₄²⁻量 (降雨量×当量濃度)

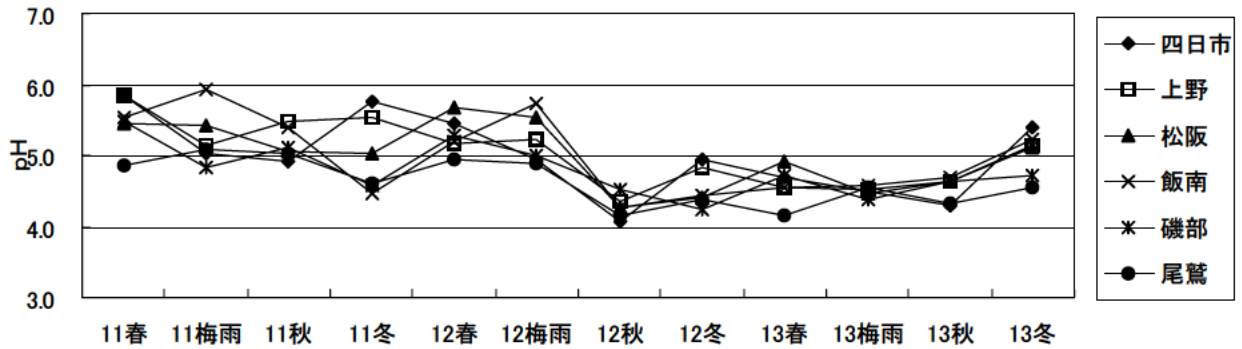


図6 pH (年度別季節別平均)

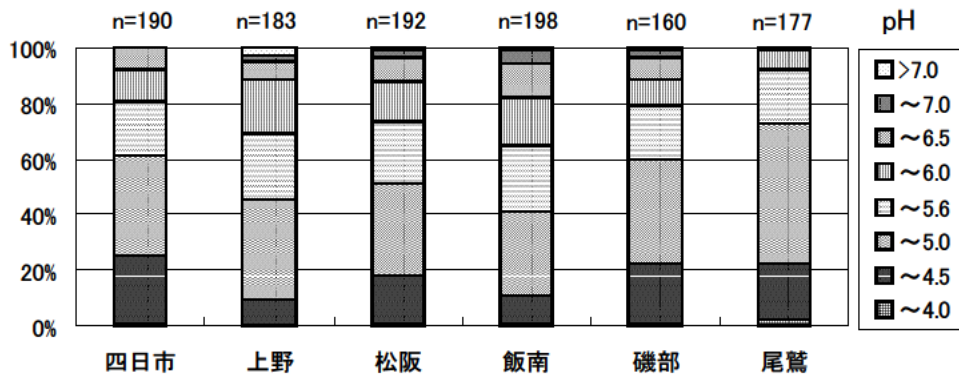


図7 pH段階別出現割合

次に、図 8, 9 に EC 及びイオンの平成元年度から 13 年度までの地点別、季節別平均値を、図 10 に季節別の平

均降雨量（採雨量）を、図 11 に四季各 1 ヶ月間、計 4 ヶ月間の年度平均湿性沈着量を示す。

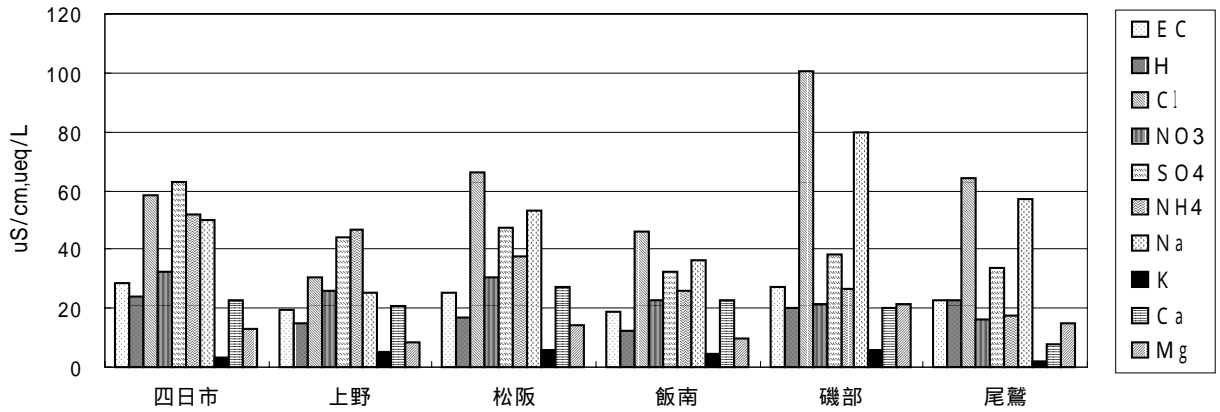


図 8 イオン地点別平均 (H1 ~ H13)

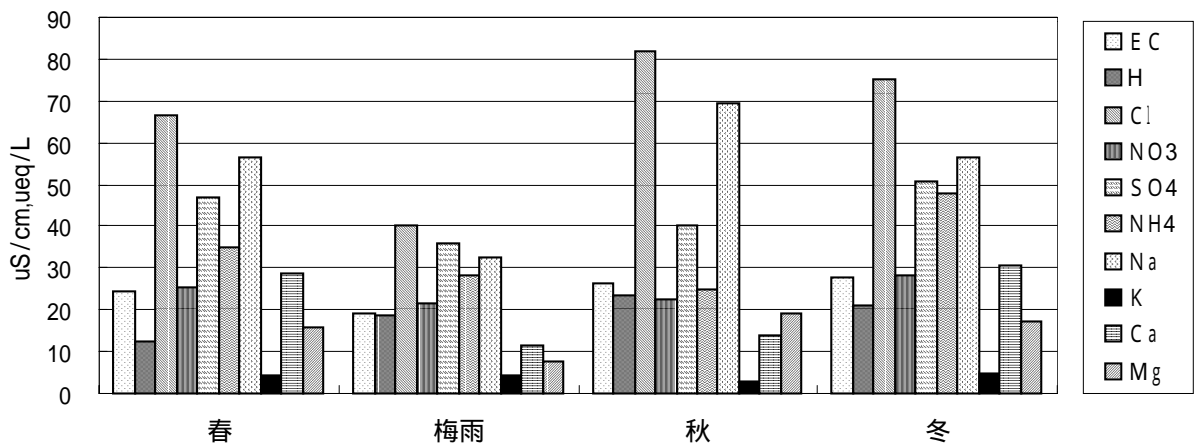


図 9 イオン季節別平均(H1 ~ H13)

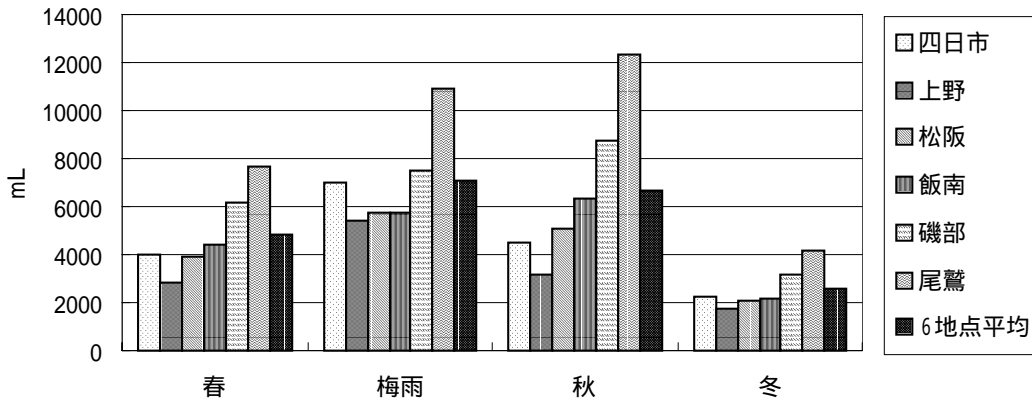


図 10 季節別平均降雨量（採雨量）

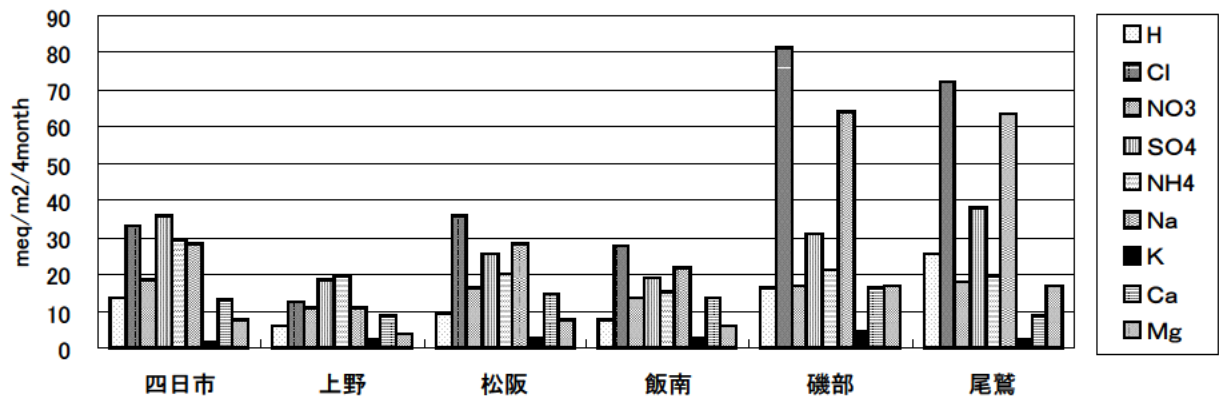


図 11 湿性沈着量 年(4ヶ月)平均 (H1~H13)

1.2 EC

EC は、地点別では、四日市>磯部>松阪>尾鷲>上野>飯南の順であった。EC は、総イオン量と強い相関を示すため、海岸に近い地点で高い傾向にあるのは海塩粒子の影響によるものと思われる。季節別では、梅雨時がやや低い値を示したが、他は、ほぼ同様の値を示した。

1.3 SO₄²⁻

SO₄²⁻は、産業活動の盛んな地域での数値が大きく、地域の大気環境を反映して、四日市>松阪>上野>磯部>尾鷲>飯南の順であった。季節別では、冬>春>秋>梅雨の順であった。冬季は、SO₄²⁻だけでなく他のイオンについても高かったが、その原因としては、冬季によく見られる接地逆転層の発生による大気の拡散の悪さ及び降雨量が少ないことなどが大きな原因と考えられ、冬に比べ降雨量の多い春、梅雨、秋は濃度が低くなる傾向にあった。沈着量は降雨量に大きく影響され、尾鷲>四日市>磯部>松阪>飯南>上野の順であった。

また、SO₄²⁻と、nss-SO₄²⁻の比(μeq/L比)は、表2の通り、約75%から90%であり、主として海岸部で海塩粒子の影響を受けていることが窺われた。

表 2 海塩粒子成分の割合

	nss-SO ₄ /SO ₄	nss-Ca/Ca
四日市	0.91	0.90
上野	0.93	0.95
松阪	0.87	0.92
飯南	0.89	0.95
磯部	0.75	0.83
尾鷲	0.80	0.68

1.4 NO₃⁻

NO₃⁻についても、産業活動の盛んな地域、自動車交通量の多い地域での数値が大きく、四日市>松阪>上野>飯南>磯部>尾鷲の順であった。季節別では、SO₄²⁻と同様に、冬>春>秋>梅雨の順であった。沈着量も、ほぼSO₄²⁻と同様の傾向であった。

様に、冬>春>秋>梅雨の順であった。沈着量も、ほぼSO₄²⁻と同様の傾向であった。

1.5 NH₄⁺

NH₄⁺についても、産業活動の盛んな地域、自動車交通量の多い地域での数値が大きく、四日市>上野>松阪>磯部>飯南>尾鷲の順であった。季節別では、冬>春>梅雨>秋の順であった。沈着量は、四日市が多く、磯部、尾鷲、松阪、上野が同程度で、飯南が最も少なかった。

1.6 Na⁺, Mg²⁺, Cl⁻

図 12 に示すように、Na⁺, Mg²⁺の総和と Cl⁻は、直線式でほぼ 1 に近い傾きを示した。降雨中の Na⁺は、海塩粒子起因成分として捉えられている⁴⁾ こと、また、Mg²⁺については海水中の存在比を考慮すると、Cl⁻は、これらのイオンのカウンターイオンとして考えられることから、その殆どが海水由来と考えられる。

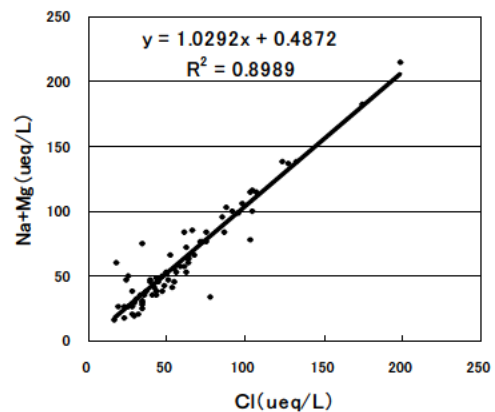


図 12 Na+Mg/Cl (n=76)

本県における測定結果でも、これらのイオンは、磯部>尾鷲>松阪>四日市>飯南>上野の順で、海からの距離が遠い程、濃度は低かった。季節別では、他のイオンと異なり、秋の台風到来時期が最も高く、次いで冬>春>梅雨の順であった。沈着量は、降雨量の多さ及び海岸

部ということから磯部、尾鷲が多かった。

1.7 K⁺

K⁺は降雨中の構成イオンの中で最も存在比が小さいイオンである。地点別では、尾鷲が若干少ないが、絶対量が少ないこともあって大きな差異は認められなかった。季節別では、やや秋に少ない値を示したが、大きな差異は認められなかった。沈着量は、やや磯部が多かった。

1.8 Ca²⁺

Ca²⁺は、地点別では、松阪 > 飯南 > 四日市 > 上野 > 磯部 > 尾鷲の順であった。季節別では、冬 > 春 > 秋 > 梅雨の順であり、冬の季節風による土壌粒子の巻き上げや、黄砂の影響が考えられた。黄砂には、日本の表層土と比較するとCaが高い割合で含まれており、一般的にはCa含有量の多いことが黄砂の飛来を告げることになる⁹⁾。これまでも度々、春には、黄砂の影響と思われる降雨が確認されており、その際のCa²⁺は高い濃度を示した。沈着量は磯部 > 飯南、松阪 > 四日市 > 上野、尾鷲の順であった。

また、Ca²⁺と、海塩粒子中のCa²⁺を除いたnss-Ca²⁺の比

は、表2に示した通りで、海岸に近い尾鷲、磯部で低い値を示した。これらの地点では海塩粒子の寄与が大きいと考えられた。他の地点では90%以上であった。

1.9 pHに大きく影響するイオン

降雨のpHに大きな影響を及ぼす陰イオンは、SO₄²⁻とNO₃⁻であり、これを中和する主な陽イオンはNH₄⁺とCa²⁺であること⁴⁾から、海塩粒子成分を除いたnss-SO₄²⁻/NO₃⁻及びNH₄⁺/nss-Ca²⁺($\mu\text{eq/L}$ 比)を求めたところ表3のとおり、これまでの報告と同様に、6地点とも、酸性化に及ぼす寄与は、陰イオンはnss-SO₄²⁻、中和成分としては、NH₄⁺が大きかった。6地点中pH4.5以下の降雨の出現率が高い尾鷲と四日市を比べると、尾鷲ではnss-SO₄²⁻、NO₃⁻が最も少ないがnss-Ca²⁺、NH₄⁺も最も少なく、これらの比が1.89と6地点中最も大きいことがpHを低くし、一方四日市ではnss-SO₄²⁻、NO₃⁻が最も多いがnss-Ca²⁺、NH₄⁺の和も最も多く、これらの比が1.24と尾鷲より低いことが、nss-SO₄²⁻、NO₃⁻が多いにもかかわらずpHがあまり低値を示さない理由と考えられる。

表3 NO₃/nss-SO₄, NH₄/nss-Ca

	NO ₃	nss-SO ₄	nss-SO ₄ /NO ₃	NH ₄	nss-Ca	NH ₄ /nss-Ca	NO ₃ +nssSO ₄ /NH ₄ +nssCa
四日市	32.6	57.1	1.7	52.0	20.5	2.5	1.24
上野	26.0	41.0	1.6	46.5	19.9	2.3	1.01
松阪	30.6	40.8	1.3	37.3	24.9	1.5	1.15
飯南	22.6	28.6	1.3	25.9	21.6	1.2	1.08
磯部	21.1	28.9	1.4	26.4	16.7	1.6	1.16
尾鷲	16.0	27.0	1.7	17.4	5.4	3.2	1.89

2. 分割採取法による調査

図13、図14に示すとおり、初期降雨1mmあたりのイオン総量は、四日市では、1mmまでの降雨にイオン総量の47%、3mmまでの降雨に90%、また、松阪における1mmまでの降雨には37%、3mmまでの降雨には72%、5mmまでの降雨には92%のイオンが含まれ、少なくとも、

降り始めから3mmまでの降雨で約70%の水溶性イオンがウォッシュアウトされることが認められた。また、各イオンの減少割合には大きな差異は見られず、全てのイオンが初期降雨から徐々に減少していた。

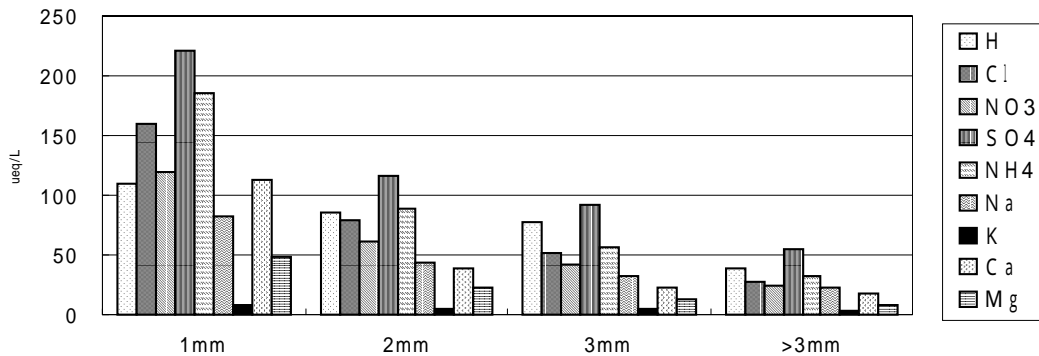


図13 初期降雨量別イオン平均濃度：四日市 (n=92)

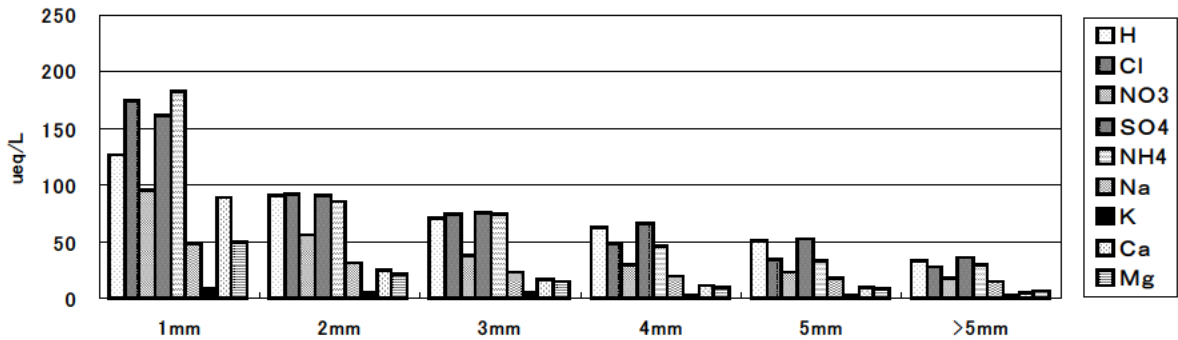


図 14 初期降雨量別イオン平均濃度：松阪 (n=40)

この様に、初期降雨によって大気中の多くの物質が洗い流されることにより、後半の降雨には、次第に単位あたりのイオン量の減少が認められた。pHは、松阪を例にとると、図 15 のように、様々なパターンを示した。パターンは、概ね、1)最初が低く、徐々に上昇、2)最初が高く、一旦低くなりその後上昇、3)最初が低く、一旦高くなりその後低下の 3 パターンが認められたが、1)のパターン

が多かった。図 16 にろ過採取法による降雨量と EC の関係を示す。降雨量と EC の相関は余り良くないものの、降雨量が少ない降雨では、EC が高くなる傾向が認められた。この相関が低い原因としては、秋季の台風がもたらす大量の降雨に含まれる海塩粒子成分イオンの影響によるものではないかと思われた。

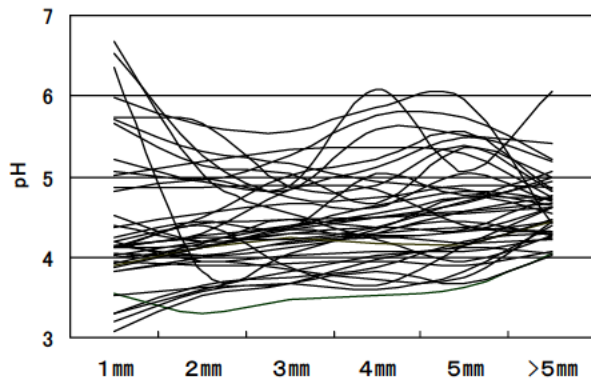


図 15 初期降雨における pH の変化：松阪(n=40)

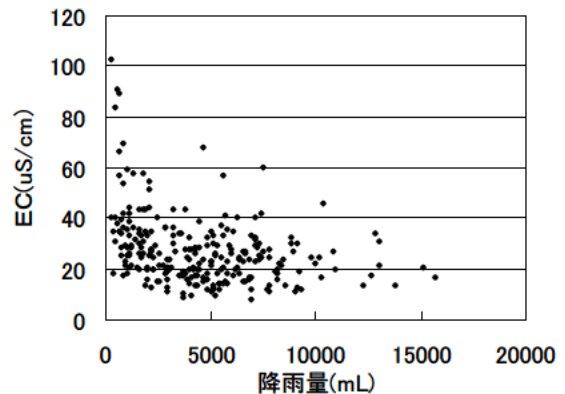


図 16 降雨量と EC の相関 (n=304)

3. 各地点における降雨の特性

各地点におけるイオン濃度等については、図 8 以下に示したとおりであるが、地点間の降雨の特性を見るため、主成分分析により解析を行った¹⁰⁾。主成分分析は、各イオンを変数として、6 地点における平成 3 年度以降の年度毎の季節別平均当量濃度からなるデータ行列を作成し、このデータ行列から出発した。多変量解析プログラムは Excel 多変量解析 SSS_THR2 を用いた。表 4.1~9.1 に各地点における各イオンの相関係数行列、表 4.2~9.2 に固有ベクトル、表 4.3~9.3 に寄与率を、また、図 17~22 に固有ベクトル座標を示す。なお算出された固有ベクトルは、

各地点間の比較を容易にするため、一部正負の符号の入れ替えを行った。また主成分 1 は「大きさの因子」(size factor)と思われたが、主成分 2 が何を表す座標軸かは解釈出来なかった。各地点におけるイオンのベクトルパターンは、概ね四日市と上野、松阪と飯南、磯部と尾鷲とがそれぞれ類似した 3 種類の異なったパターンを示した。この結果とイオン地点別平均濃度、沈着量から、6 地点の降雨を比較すると、四日市、上野は SO_4^{2-} 、 NH_4^+ 卓越タイプ、磯部、尾鷲は海塩粒子卓越タイプ、松阪、飯南はその中間タイプと考えられた。

表 4.1 相関係数 (四日市) n=52

	H	Cl	NO3	SO4	NH4	Na	K	Ca	Mg
H	1	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Cl	-0.19	1	[*]	[**]	[*]	[**]	[**]	[*]	[**]
NO3	0.02	0.27	1	[**]	[**]	[]	[**]	[**]	[*]
SO4	0.23	0.40	0.74	1	[**]	[*]	[**]	[**]	[**]
NH4	-0.27	0.30	0.67	0.62	1	[]	[*]	[**]	[*]
Na	-0.19	0.96	0.17	0.31	0.19	1	[**]	[]	[**]
K	-0.17	0.49	0.49	0.54	0.32	0.43	1	[**]	[**]
Ca	-0.22	0.29	0.53	0.58	0.40	0.20	0.69	1	[**]
Mg	-0.20	0.95	0.30	0.42	0.29	0.93	0.55	0.39	1

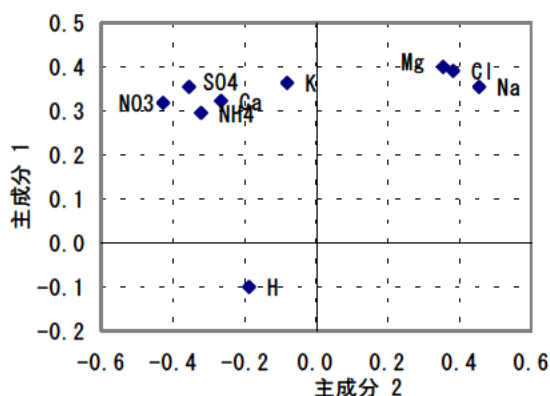


図 17 固有ベクトル座標 (四日市)

表 4.2 固有ベクトル (四日市)

	主成分 1	主成分 2
H	-0.10	-0.19
Cl	0.39	0.38
NO3	0.32	-0.43
SO4	0.36	-0.35
NH4	0.29	-0.32
Na	0.35	0.46
K	0.36	-0.08
Ca	0.32	-0.27
Mg	0.40	0.35

表 4.3 寄与率 (四日市)

主成分No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	4.42	49.1	49.1
2	1.88	20.9	70.0

表 5.1 相関係数 (上野) n=52

	H	Cl	NO3	SO4	NH4	Na	K	Ca	Mg
H	1	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Cl	-0.23	1	[**]	[**]	[**]	[**]	[*]	[**]	[**]
NO3	-0.15	0.66	1	[**]	[**]	[**]	[]	[**]	[**]
SO4	0.06	0.64	0.71	1	[**]	[**]	[**]	[**]	[**]
NH4	-0.21	0.62	0.57	0.71	1	[**]	[**]	[**]	[**]
Na	-0.22	0.83	0.52	0.44	0.39	1	[]	[**]	[**]
K	-0.10	0.31	0.21	0.65	0.70	0.18	1	[**]	[**]
Ca	-0.19	0.54	0.77	0.71	0.50	0.48	0.36	1	[**]
Mg	-0.16	0.67	0.73	0.78	0.62	0.56	0.42	0.80	1

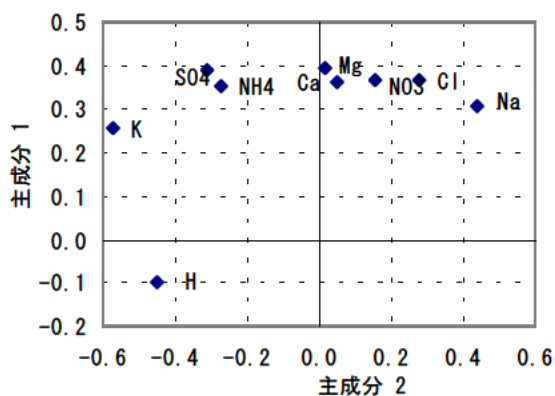


図 18 固有ベクトル座標 (上野)

表 5.2 固有ベクトル (上野)

	主成分 1	主成分 2
H	-0.10	-0.45
Cl	0.37	0.28
NO3	0.37	0.15
SO4	0.39	-0.31
NH4	0.35	-0.27
Na	0.31	0.44
K	0.25	-0.57
Ca	0.36	0.05
Mg	0.39	0.02

表 5.3 寄与率 (上野)

主成分No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	5.13	57.0	57.0
2	1.22	13.5	70.6

表 6.1 相関係数 (松阪) n=52

	H	Cl	NO3	SO4	NH4	Na	K	Ca	Mg
H	1	[]	[]	[]	[]	[]	[*]	[]	[]
Cl	-0.25	1	[**]	[**]	[**]	[**]	[]	[**]	[**]
NO3	-0.11	0.76	1	[**]	[**]	[**]	[]	[**]	[**]
SO4	-0.02	0.79	0.83	1	[**]	[**]	[]	[**]	[**]
NH4	-0.12	0.73	0.83	0.84	1	[**]	[]	[**]	[**]
Na	-0.22	0.90	0.53	0.64	0.50	1	[]	[**]	[**]
K	-0.32	0.12	0.13	0.22	0.16	0.14	1	[]	[]
Ca	-0.18	0.75	0.81	0.92	0.86	0.58	0.19	1	[**]
Mg	-0.23	0.91	0.80	0.79	0.84	0.72	0.18	0.76	1

表 6.2 固有ベクトル (松阪)

	主成分 1	主成分 2
H	-0.10	-0.72
Cl	0.39	0.01
NO3	0.37	-0.13
SO4	0.39	-0.14
NH4	0.38	-0.11
Na	0.32	0.08
K	0.10	0.65
Ca	0.38	-0.06
Mg	0.39	0.01

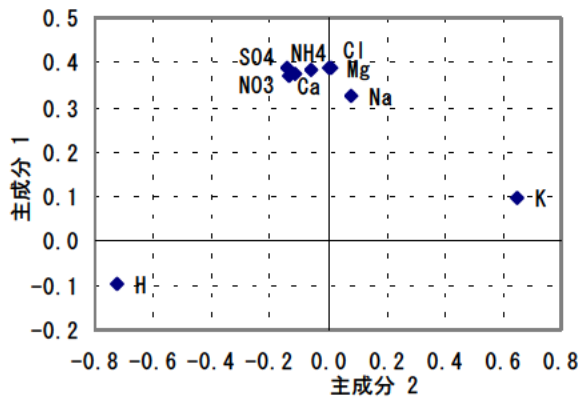


図 19 固有ベクトル座標 (松阪)

表 6.3 寄与率 (松阪)

主成分No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	5.70	63.3	63.3
2	1.26	13.9	77.3

表 7.1 相関係数 (飯南) n=52

	H	Cl	NO3	SO4	NH4	Na	K	Ca	Mg
H	1	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]
Cl	-0.05	1	[**]	[**]	[**]	[**]	[**]	[**]	[**]
NO3	0.05	0.84	1	[**]	[**]	[**]	[**]	[**]	[**]
SO4	0.23	0.85	0.84	1	[**]	[**]	[**]	[**]	[**]
NH4	0.10	0.66	0.82	0.76	1	[**]	[**]	[**]	[**]
Na	-0.14	0.93	0.70	0.75	0.49	1	[**]	[**]	[**]
K	-0.12	0.44	0.47	0.53	0.54	0.47	1	[**]	[**]
Ca	-0.03	0.88	0.93	0.86	0.81	0.76	0.51	1	[**]
Mg	0.02	0.88	0.91	0.81	0.83	0.76	0.45	0.93	1

表 7.2 固有ベクトル (飯南)

	主成分 1	主成分 2
H	0.01	-0.91
Cl	0.38	0.10
NO3	0.38	-0.07
SO4	0.37	-0.20
NH4	0.34	-0.16
Na	0.34	0.23
K	0.24	0.21
Ca	0.39	0.02
Mg	0.38	-0.02

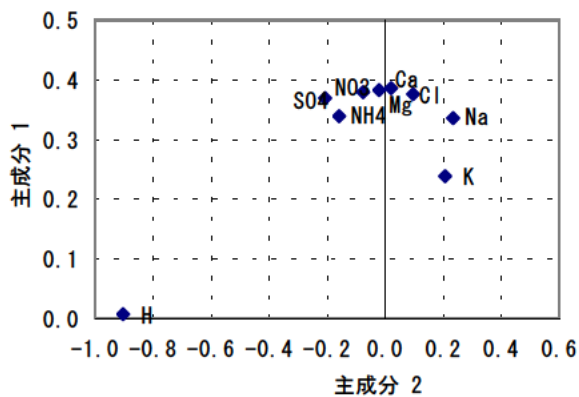


図 20 固有ベクトル座標 (飯南)

表 7.3 寄与率 (飯南)

主成分No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	6.19	68.8	68.8
2	1.14	12.7	81.5

表 8.1 相関係数 (磯部) n=43

	H	Cl	NO3	SO4	NH4	Na	K	Ca	Mg
H	1	[]	[]	[*]	[]	[]	[]	[]	[]
Cl	0.01	1	[]	[**]	[]	[**]	[]	[]	[**]
NO3	0.15	0.25	1	[**]	[]	[]	[]	[**]	[**]
SO4	0.31	0.48	0.83	1	[*]	[]	[]	[**]	[**]
NH4	0.21	0.00	0.26	0.37	1	[]	[**]	[*]	[]
Na	-0.10	0.93	0.10	0.30	-0.25	1	[]	[]	[**]
K	-0.03	-0.01	0.13	0.20	0.45	-0.05	1	[]	[]
Ca	0.09	0.27	0.92	0.78	0.35	0.07	0.07	1	[**]
Mg	0.06	0.91	0.44	0.63	0.14	0.77	0.04	0.49	1

表 8.2 固有ベクトル (磯部)

	主成分 1	主成分 2
H	0.09	-0.21
Cl	0.39	0.40
NO3	0.40	-0.29
SO4	0.45	-0.20
NH4	0.16	-0.43
Na	0.30	0.52
K	0.08	-0.26
Ca	0.40	-0.28
Mg	0.44	0.25

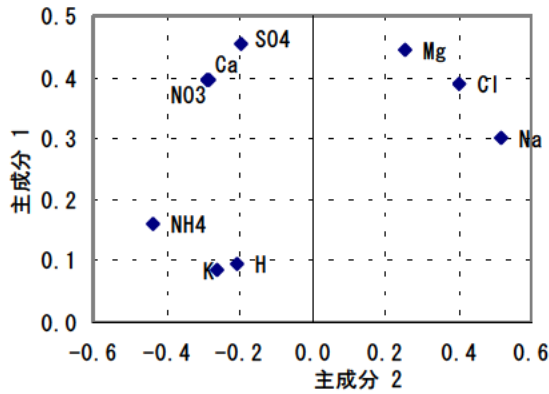


図 21 固有ベクトル座標 (磯部)

表 8.3 寄与率 (磯部)

主成分No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	3.85	42.8	42.8
2	2.17	24.1	66.9

表 9.1 相関係数 (尾鷲) n=52

	H	Cl	NO3	SO4	NH4	Na	K	Ca	Mg
H	1	[]	[*]	[**]	[]	[*]	[]	[]	[]
Cl	0.26	1	[]	[**]	[]	[**]	[**]	[]	[**]
NO3	0.29	0.14	1	[**]	[**]	[]	[**]	[**]	[]
SO4	0.56	0.36	0.56	1	[**]	[**]	[**]	[**]	[]
NH4	-0.14	-0.07	0.56	0.43	1	[]	[**]	[**]	[]
Na	0.35	0.91	0.14	0.39	-0.02	1	[**]	[]	[**]
K	0.13	0.57	0.46	0.52	0.50	0.66	1	[**]	[*]
Ca	-0.07	0.13	0.51	0.57	0.60	0.16	0.58	1	[]
Mg	0.02	0.46	0.00	0.10	-0.01	0.45	0.35	0.04	1

表 9.2 固有ベクトル (尾鷲)

	主成分 1	主成分 2
H	0.20	-0.18
Cl	0.35	-0.44
NO3	0.33	0.32
SO4	0.41	0.13
NH4	0.26	0.48
Na	0.37	-0.42
K	0.45	0.00
Ca	0.33	0.37
Mg	0.20	-0.33

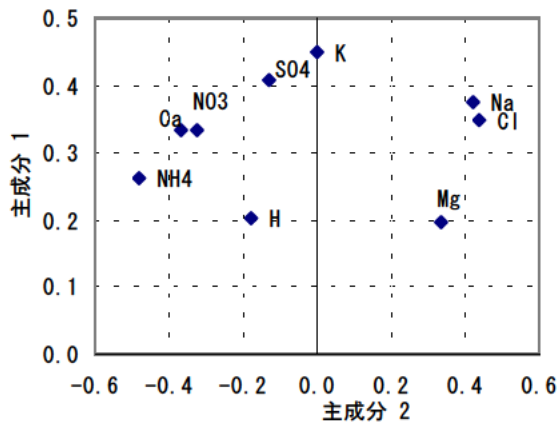


図 22 固有ベクトル座標 (尾鷲)

表 9-3 寄与率 (尾鷲)

主成分No.	固有値	寄与率(%)	累積(%)
1	3.75	41.7	41.7
2	2.09	23.2	64.9

まとめ

酸性雨について、県下6地点（四日市市、上野市、松阪市、飯南町、磯部町、尾鷲市）で調査を行ってきた。その結果は次のとおりであった。

- 1) pHは、平成11年度までは、全体的には6地点とも横這いないし僅かな上昇傾向を示し、同年では4.88~5.32であったが、12年度には全地点で0.5程度低下して4.37~4.81に、13年度もほぼ同様の値で推移し4.38~4.76であった。この原因としては、12年8月に発生した三宅島の噴火による酸性ガスの影響と考えられた。
- 2) 降雨量とECの相関は余り良くないものの、降雨量が少ない場合は、ECが高くなる傾向が認められた。この相関が低い原因としては、秋季の台風がもたらす大量の雨に含まれる海塩粒子成分イオンが影響していると思われた。
- 3) 酸性化に大きく影響を及ぼす陰イオンは、 nss-SO_4^{2-} と NO_3^- 、中和成分としては、 NH_4^+ と Ca^{2+} であるが、これまでの報告と同様、6地点とも、陰イオンでは nss-SO_4^{2-} 、中和成分としては、 NH_4^+ の寄与が大きかった。
- 4) Cl^- は、 Na^+ 、 Mg^{2+} のカウンターイオンとして存在し、その殆どが海塩粒子由来と考えられた。
- 5) Ca^{2+} は、冬、春に高く、冬の季節風による土壌粒子の巻き上げや、黄砂の影響が大きいと考えられた。
- 6) 雨の降り始めから3mmまでの初期降雨中に、単位あたりで降雨全体の約70%の水溶性イオンが含まれていた。また、各イオンの減少度合いには大きな差異は見られなかった。

主成分分析を行ったところ、各地点におけるイオンのベクトルパターンは、概ね四日市と上野、松阪と飯南、磯部と尾鷲とがそれぞれ類似した3種類の異なったパターンを示した。この結果とイオン地点別平均濃度、沈着量から、6地点の降雨を比較すると、四日市、上野は SO_4^{2-} 、 NH_4^+ タイプ、磯部、尾鷲は海塩粒子タイプ、松阪、飯南はその中間タイプと考えられた。

おわりに

本調査研究は、6地点における調査は平成13年度で終了したが、平成14年度からは調査地点を絞り込み、新たな調査手法も加え、更なる基礎データの蓄積を図っていく予定である。これまで本調査に携わってこられた多数の方々並びに長年にわたりデータ提供、調査に協力いただいた尾鷲市環境課の皆様には厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) 塚田進 他：三重県環境科学センター研究報告，9，21 (1989)。
- 2) 塚田進 他：三重県環境科学センター研究報告，10，27 (1990)。
- 3) 小山善丸 他：三重県環境科学センター研究報告，13，25 (1993)。
- 4) 小山善丸 他：三重県環境科学センター研究報告，16，65 (1996)。
- 5) 鳥居成幸，永楽通宝：三重県環境科学センター研究報告，17，35 (1997)。
- 6) 酸性雨調査法研究会編：酸性雨調査法，株式会社ぎょうせい，(1993)。
- 7) 平山順一：火山噴火と火山ガス，大気環境学会編，三宅島噴火と広域大気汚染，99-115，学会出版センター，(2001)。
- 8) 山川和彦，山神真紀子：三宅島噴火に伴う東海・近畿・北陸地域の硫黄酸化物高濃度事例，全国環境研究誌，26，No4 (2001)。
- 9) 名古屋大学水圏科学研究所編：大気水圏の科学 黄砂，(株)古今書院 (1991)。
- 10) 奥野忠一，久米均，芳賀敏郎，吉澤正：多変量解析法 (改訂版)，(株)日科技連出版社 (1984)。